

Neue Entwicklungen zur Tiefbohrtechnik, Übertage - Untertage

Marx, Claus

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1998 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.87-98



J. Cramer Verlag, Braunschweig

C. MARX, Goslar

Neue Entwicklungen zur Tiefbohrtechnik, Übertage - Untertage

Clausthal-Zellerfeld, 11.07.1998

1. Kurzdarstellung der Entwicklungsgeschichte

In der Entwicklungsgeschichte des Gesteinbohrens treten zu bestimmten Zeiten sehr bedeutende Änderungen auf während es in den oft sehr langen Zeiträumen dazwischen zu keiner erkennbaren neuartigen Technik kommt. Die Kunst, Hartgesteine zu durchbohren, gehört zu den ältesten Techniken der Menschheit. Die Bohrtechnik wurde angewendet, um die Funktionsfähigkeit von Steinwerkzeugen zu verbessern, Gesteinsblöcke bei der Steinbrucharbeit zu lösen sowie Bodenschätze zu erkunden und zu gewinnen

Die Zeitabschnitte und geographischen Regionen mit bedeutender bohrtechnischer Entwicklung sind folgende (1):

1.1. Die vorgeschichtliche Zeit

- Neolithikum 4500 bis 220 v. Chr. in Europa

Für die Herstellung von Steinwerkzeugen wurde das Vollbohr- und das Hohlbohrverfahren angewendet (siehe Abb. 1). Gebohrt wurde in harten, kristallinen Gesteinen, jedoch nicht in Flintsteinen.

- Ägyptische Kultur, altes Reich 2600 bis 2190 v. Chr.

Die Gesteinsbohrtechnik kam bei der Anfertigung von Steinvasen und bei der Aushöhlung von Sarkophagen zur Anwendung. Nachweislich wurde in folgenden Hartgesteinen gebohrt: Quarzit, Diorit, Porphy, Obsidian. Der Durchmesserbereich betrug wenige mm bis ca. 70 cm. Es wurden lange Bohrungen bis 6 m Länge ausgeführt und dabei auch das Kernbohrverfahren angewendet. Entsprechendes Kernmaterial wurde gefunden.

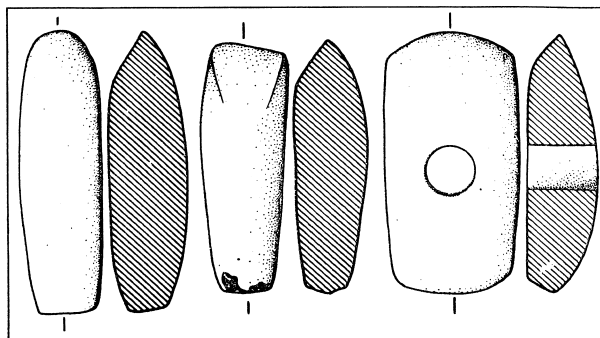


Abb. 1 Steinbeil mit Bohrung /1/

- Entwicklung des Seilschlag-Bohrverfahrens in China, Dschou-Dynastie 1122 bis 256 v. Chr.

Von Konfuzius (551 bis 479 v. Chr.) ist überliefert, daß in China in der heutigen Provinz Sichuan zur Solegewinnung Bohrungen von mehreren 100 Fuß ausgeführt wurden. Die Bohrtechnik muß also bereits wesentlich älter sein, um zu der genannten Zeit die angegebenen Tiefen zu erreichen. Eine Form der für das Seilschlagbohren erforderlichen Auf- und Abbewegung zeigt Abb. 2. Aus der Sole wurde in Siedepfannen das Salz gewonnen und mehrfach Erdgas als Energierohstoff eingesetzt.

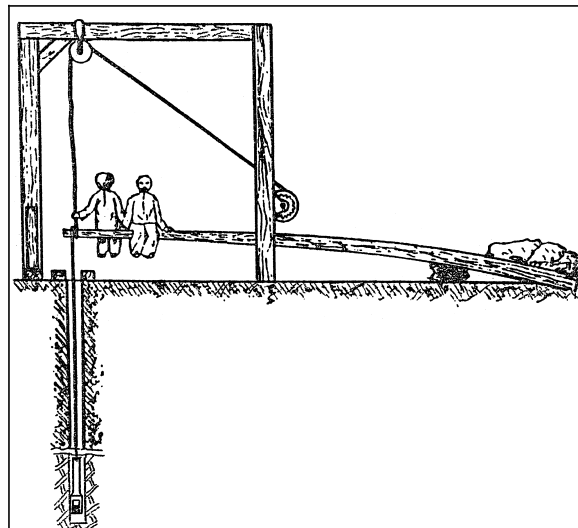


Abb. 2. Chinesisches Seilschlagbohren

1.2. Die Zeit zwischen 1800 und 1975 n. Chr. in Europa und Nordamerika

- Schlagende und drehschlagende Verfahren

Die Technik des chinesischen Seilschlagbohrens hat in der ganzen Welt Verbreitung gefunden und dabei mannigfaltige Weiterentwicklungen erfahren. In der Form des kanadischen Schlagbohrverfahrens wurden statt eines Seiles im Durchmesser kleine massive Stahlstangen verwendet, die mit dem überträgigen Antrieb (Schwengel) über eine Kette und Nachlaßvorrichtung verbunden waren. Das System erlaubte es, eine kontrollierte Umsetzung des Bohrwerkzeuges nach jedem Schlag vorzunehmen. Breite Anwendung fand die Schlagbohrtechnik allgemein in der Wasserversorgung. So wurden in Frankreich und Deutschland Brunnen bis 500 m Tiefe gebohrt. Andere Anwendungen betrafen die Gewinnung von Mineralwasser für Badeorte, wie z. B. Bad Oeynhausen.

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde in Frankreich beim schlagenden Bohren erstmals ein Hohlgestänge verwendet. Durch eine Zirkulation mit Wasser, das durch das Gestänge zum Meißel geführt wurde, konnte die Bohrlochsohle gereinigt werden und das Bohrklein über den Ringraum ausgetragen werden. Der Bohrprozeß wurde dadurch kontinuierlich ausgeführt und mußte nicht für die Reinigung der Bohrlochsohle mittels Schlammbüchse jeweils unterbrochen werden.

Ab 1895 fand das Schnellschlagbohrsystem von Anton Raky breite Anwendung, da es die stoßförmige Belastung der Gestängerohre vermied und mit hoher Schlagfrequenz arbeitete.

– Das Rotary-Bohrverfahren

Eine völlige Abkehr von den Schlagbohrverfahren, dessen Nachteile sich mit zunehmender Teufe erhöhten, brachte das Rotary-Verfahren, welches 1844 in England zum Patent angemeldet wurde. Nach 1901 fand dieses Verfahren eine verbreitete Anwendung.

Das Rotary-Bohrverfahren hat sich zu dem modernen Drehbohrverfahren entwickelt, das zur Aufsuchung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas bis zu 10 km Tiefe bei Land- sowie Offshore-Bohrungen Anwendung findet. Es ist durch folgende Merkmale charakterisiert:

- Die Andruckkraft auf das Bohrwerkzeug ist konstant und kann aus der Gewichtslast der Schwerstangen in weiten Bereichen variiert werden. Üblicherweise beträgt sie zwischen 100 und 400 MN.
- Die Drehbewegung wird klassischerweise über einen auf der Arbeitsbühne befindlichen Drehtisch formschlüssig auf das Gestänge übertragen. Die Drehzahl liegt zwischen 60 und 160 Umdrehungen pro Minute (min^{-1}). Alternativ kann ein Bohrmotor in gesetzt werden, der über dem Bohrmeißel angeordnet ist und über den Spülstrom angetrieben wird. Die Drehzahlen liegen dabei zwischen 100 und 400 min^{-1} für hydrostatische Bohrmotoren und zwischen 600 und 800 min^{-1} für Bohrturbinen.
- Eine konstante Zirkulationsrate dient der Bohrlochsohlenreinigung, dem Austrag des Bohrkleins, der Kühlung der Bohrwerkzeuge und – wie bereits erwähnt – dem Antrieb von Bohrmotoren. Die Bohrspülung ist ein komplexes System in kolloidaler Suspension, das zur temporären Stabilität des unverrohrten Bohrlochabschnittes beiträgt. Das Rotary-Bohrverfahren hat sich als sehr ausbaufähig erwiesen und wurde vielfach weiterentwickelt. Über die neueren Entwicklungen der Rotary-Bohrtechnik ab 1975 soll im folgenden Abschnitt berichtet werden.

2. Enorme Entwicklungssprünge seit 1975

2.1. Der weltwirtschaftliche Hintergrund dieser Entwicklungsnotwendigkeiten

Die stürmische und hochintensive Entwicklung der Bohrtechnik seit 1975 in der westlichen Welt hat seine Ursache in der unerwarteten und starken Ölpreiserhöhung durch die OPEC und die damit verbundene Abhängigkeit der Versorgung durch die OPEC. Beide Faktoren, die Ölpreiserhöhung und die Versorgungsabhängigkeit, führten zur Intensivierung der Aufsuchungs- und Gewinnungsarbeiten in bisher unwirtschaftlichen Gebieten,

wie den großen Sedimentbecken im Meer (z. B. Nordsee) sowie in klimatisch und logistisch schwierigen Gebieten (z. B. Alaska). Mehr als 6000 Bohrgeräte wurden allein in der westlichen Welt nach und nach zum Einsatz gebracht. Der Boom hielt an, da der Ölpreis bis auf über 35 \$/bbl (ca. 500 DM/t) kletterte. Die Erfolge der verstärkten Eigenversorgung aus Gebieten außerhalb der OPEC führte 1985 zur Gegenbewegung, indem die OPEC nunmehr durch entsprechende Billigangebote und große Mengen dafür sorgten, daß der Ölpreis auf 12 \$/bbl fiel. Die Zeitspanne von 10 Jahren ist aber ausreichend gewesen, um neue Bohrtechniken zu entwickeln und riesige Vorkommen an Erdöl und Erdgas zu erschließen. Die Bohrtechnik hatte inzwischen sensationelle Verbesserungen erfahren, die nunmehr eingesetzt wurden, um selbst bei niedrigen Erlösen die Aufsuchung und Gewinnung von Erdöl und Erdgas fortsetzen zu können.

2.2. Entwicklung neuer Systeme zur Navigation und Steuerung des Bohrstranges

Zur Erschließung von Erdöl- und Erdgasfeldern in meeresbedeckten Räumen, werden auf dem Meeresboden Bohr- und Förderplattformen fest errichtet. Von diesen künstlichen Inseln werden von verhältnismäßig kleinen Arealen (in der Größe eines Fußballfeldes) Vorkommen in 3000 m Tiefe durch gerichtete Bohrungen erschlossen. 30 bis 60 Bohrungen werden von solchen Plattformen abgeteuft und entölen eine Feldesfläche von ca. 10 km².

Die Bohrungen müssen einem genau festgelegten Bohrlochverlauf folgen, damit es nicht zu Kollisionen mit bereits abgeteuften und verrohrten Bohrungen kommt. Dieser Verlauf der Bohrungen im dreidimensionalen Raum wurde früher jeweils aus Einzelmessungen nach 30 bis 50 m Bohrfortschritt ermittelt. Die Meßgeräte wurden dazu am Draht eingelassen und nach der Messung von Bohrlochneigung und Richtung der Neigung (Azimut) aufgeholt. Die Bohrarbeit mußte für diese Messung unterbrochen werden. Eine Steuerung des Bohrstranges war praktisch nicht möglich. Der gewünschte Bohrlochverlauf erfolgte durch Korrekturen nachdem erhebliche Abweichungen des Verlaufes vom Plan festgestellt wurden. Die Messungen wurden in einem nicht magnetisierbaren Teil des Bohrstranges ausgeführt, der typischerweise 30 m über dem Bohrwerkzeug angeordnet war.

Die neue Technik, die heute angewendet wird, heißt Messen und Datenübertragung während des Bohrens (Measurement While Drilling, MWD).

Eine entscheidende Verbesserung zur Bestimmung des Richtungsverlaufes einer Bohrung wurde dadurch erreicht, daß permanent installierte Meßgeräte etwa jede Minute die Meßwerte von Neigung, Azimut und Referenzmarke senden, die übertage aufgenommen und sofort in Positionsdaten umgerechnet werden. Die Bohrarbeiten müssen während des Messens nicht unterbrochen werden. Zusätzlich erfolgen genauere Messungen während des Nachsetzens einer Bohrstange bzw. eines Bohrstrangzuges. Dabei ruht der Bohrprozeß.

Diese MWD-Technik wurde ständig weiterentwickelt und gestattet heute, außer den richtungsbezogenen Meßwerten, weitere Informationen zu messen und zu übermitteln.

– Bohrtechnische Daten:

- Andruck beim Bohren
- Spülungsdruck über den Meißeldüsen und im Ringraum

- Temperatur und Dichte der Spülung
- Schwingungsmessungen des Bohrstranges (axial und torsional)
- Formationsrelevante Daten
 - Spezifischer Widerstand des Gebirges
 - Natürliche Gammastrahlen
 - Schalllaufzeit
 - Formationsdichte.
- Seismische Informationen

Durch das Arbeiten der Dreikegellrollenmeißel werden Druckwellen ausgesendet und an tieferen Schichtflächen reflektiert. Diese können dann wieder empfangen und ausgewertet werden.

Das Steuern langer Bohrstränge setzt eine ganz neuartige Technik voraus. Die bisherige Richtbohrtechnik bestand darin, bei Abweichungen von einem vorgegebenen Bohrlochverlauf, durch Umrüsten der Bohrstrangstabilisatoren oberhalb des Meißels, Korrekturen vorzunehmen, die durch die elastische Biegung des Bohrstranges bewirkt werden.

Das Steuern hingegen setzt voraus, daß die Korrekturen bereits beim Ansatz einer Abweichung erkannt und Korrekturen vorgenommen werden können, ohne daß dazu ein Ausbau und eine Umrüstung des Bohrstranges erforderlich wird. Diese Steuerungstechnik basiert darauf, daß die Meißelachse um einen geringfügigen Winkelbetrag von beispielsweise 0,5 Grad gegenüber der Bohrstrangachse schiefgestellt wird. Beim Drehantrieb mit einem Bohrmotor nimmt der Bohrstrang selbst an der Drehbewegung des Meißels nicht teil. Durch die Schiefstellung des Meißels wird der Bohrlochverlauf einen Kreisbogen mit beispielsweise 500 m Radius ausführen. Durch Veränderung des Kippwinkels kann der Radius des Kreisbogens größer oder kleiner ausgeführt werden. Abhängig von der Ausrichtung des „Knickstückes“ kann der Bohrungsverlauf in jede beliebige Richtung verändert werden.

Soll von einer bestimmten Bohrlochteufe an geradeaus, d. h. richtungsstabil, gebohrt werden, so wird der Bohrstrang zusätzlich von Übertage mit geringer Drehzahl (10 min⁻¹) rotiert.

Auf die Beherrschung von Navigation und Steuerung langer Bohrstränge lassen sich viele spezielle Anwendungen der modernen Bohrtechnik zurückführen.

- Horizontalbohrungen im Trägerbereich

Werden die zumeist horizontal bzw. schwach geneigt verlaufenden erdöl- oder erdgasführenden Schichten mit vertikalen Bohrungen durchörtert, so steht nur eine kurze Zylinderfläche für den Zufluß in das Bohrloch zur Verfügung. Bei einer horizontal im Träger geführten Bohrung kann die Zutrittsfläche vervielfältigt werden (Abb 3). Mit Hilfe der Steuerung langer Bohrstränge und Anwendung kleiner Krümmungsradien kann eine vertikale Bohrung in eine horizontal verlaufende umgelenkt und tief in die Lagerstätte weitergeführt werden. Je größer der Radius R zwischen vertikalem und horizontalem Bohrungs-

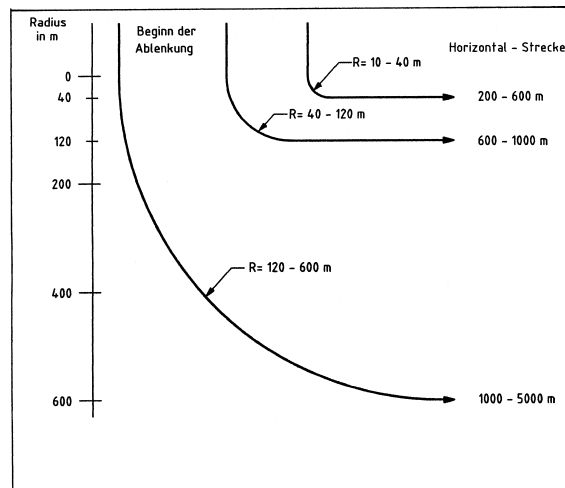


Abb. 3 Horizontalbohrungen mit unterschiedlichen Radien

abschnitt ausgeführt wird, um so länger kann die horizontale Strecke innerhalb des Trägerhorizontes gebohrt werden:

R = 10 bis 40 m	Horizontale Strecke	H= 200 – 600 m
R = 40 bis 120 m	Horizontale Strecke	H= 600 – 1000 m
R = 120 bis 600 m	Horizontale Strecke	H= 1000 – 5000 m.

Durch Verwendung von Meßgeräten, die formationsrelevante Größen ansprechen (LWD) ist es möglich, den horizontalen Verlauf der Bohrung auch formationsbedingten Änderungen anzupassen (siehe Abb. 3 a). Hier ergab sich während des Bohrens, daß statt des angenommenen, kontinuierlich ansteigenden Verlaufes der nur 3 m mächtigen Lagerstätte eine störungsbedingte Aufschiebung vorlag. Sie konnte durch Formationsmessungen nachgewiesen werden.

Statt der Herstellung nur einer horizontalen Bohrung kann man auch, je nach Gegebenheiten der Lagerstätten, von einer Hauptbohrung aus mehrere Verzweigungen horizontal in die Lagerstätte führen oder aus der horizontalen Bohrstrecke im Träger seitliche oder übereinander verlaufende Verzweigungen ausführen (s. Abb. 4, Multi lateral bzw. branch hole drilling). Wiederum ist die verlässliche Steuerung der Bohrstränge die Voraussetzung für diese Varianten.

Anwendung der Horizontalbohrtechnik in alten Erdölfeldern (Reentry-Technik) Es war naheliegend, die Horizontalbohrtechnik nachträglich auch in den sogenannten „Altfeldern“ anzuwenden, um noch nicht entölte Bereiche zu erschließen, die Förderraten zu erhöhen oder den Anteil des mitgeführten Formationswassers zu reduzieren. Die Förderhorizonte der Altfelder liegen oft in geringer Teufe um 1000 m. Bei der Anwendung

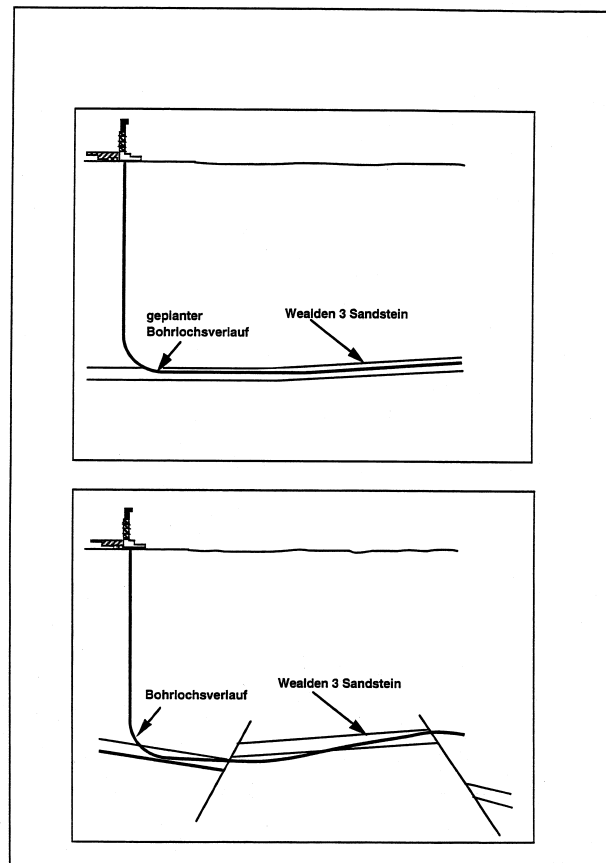


Abb. 3a Horizontalbohrung in einer Störungszone

der Reentry-Technik werden in die Stahlrohre, mit denen die Fördersonden ausgekleidet sind, Fenster gefräst und aus dem vertikalen Abschnitt neue Bohrungen mit kleinem Krümmungsradius ($R = 10$ bis 40 m) in die Formation gebohrt.

Für diese Operationen, die meist auch kein schweres Bohrgerät erfordern, hat sich der Einsatz von Wickelrohren (coiled tubing) bewährt. Wickelrohre haben einen Durchmesser von 50 bis 80 mm und werden ähnlich einem Gartenschlauch auf große Trommeln aufgespult. Die Gesamtlänge der aufgespulten Rohre beträgt bis 8 km. Die Technik des Einsatzes von coiled tubing wurde zunächst konzipiert und entwickelt, um Reparatur- oder Stimulationsmaßnahmen in Fördersonden durchzuführen. Durch eine entsprechende Anordnung von Geräten und Verbindung mit den Wickelrohren, kann mit diesem System

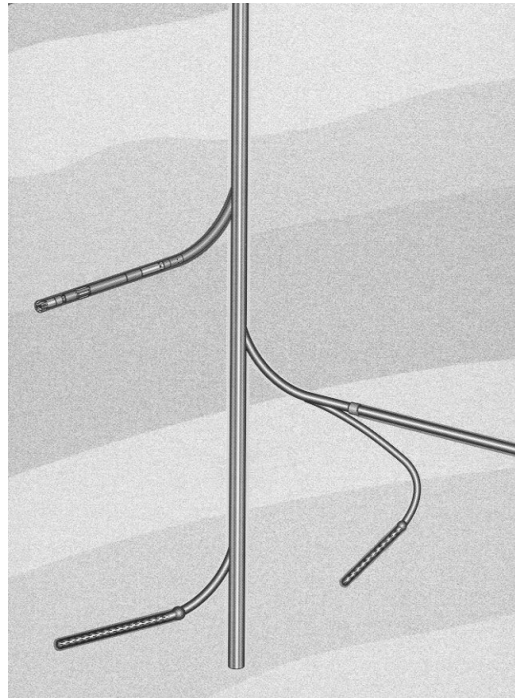


Abb. 4 Bohrung mit Mehrfachverzweigung /3/

auch gesteuert gebohrt werden. Der entscheidende Vorteil dieser coiled tubing Technik liegt u. a. darin, daß man

- in unter Druck stehenden Sonden einfahren kann
- keine beschwerte Spülung einsetzen muß
- für Ein- und Ausfahren des Bohrstranges keine Ver- oder Entschraubungsarbeiten ausführen muß.
- Stark abgelenkte Bohrungen (Extended reach drilling)

In ökologischen sensiblen Schelfgebieten ist mit der Genehmigung für die Errichtung von Bohr- und Förderplattformen kaum zu rechnen. Durch extrem stark abgelenkte Bohrungen versucht man in Deutschland (Mittelplate, siehe Abb. 5) und England (Wytch Farm) vom Land aus die vor der Küste gelegenen Ölfelder zu erreichen. Dabei wurden bereits horizontale Entfernungen vom vertikalen Ansatzpunkt der Bohrung von 7 bzw. 10 km erreicht. Besondere Erschwernisse dieser Bohrungen sind die Bohrlochstabilität, der Austrag des Bohrkleins sowie die Aufrechterhaltung des erforderlichen Andruckes beim Bohren. Das Verhältnis von horizontaler Erstreckung zur vertikalen Teufe des Zielpunktes ist eine besondere Kenngröße. Für die genannten Beispiele beträgt sie 3,5 bzw. 7 (siehe Abb. 6).

Abb. 5 Bohrloch mit extremer lateraler Ablenkung (Extended Reach-Technik) /6/

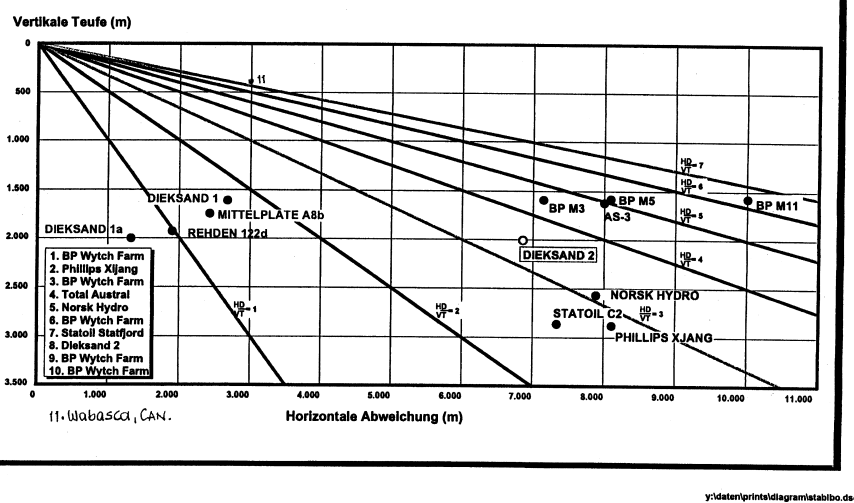


Abb. 6 Verhältnis von Vertikalteufe zur horizontalen Abweichung /6/

– Selbststeuernde Systeme

Der letzte Entwicklungsschritt besteht darin, selbststeuernde Systeme einzusetzen. Im Rahmen des kontinentalen Tiefbohrprojektes der Bundesrepublik Deutschland wurde dieses System für die besonderen Anforderungen eines genauen vertikalen Verlaufes der ersten 6 km der Tiefbohrung entwickelt und angewendet. Bereits geringste Abweichungen von dem vertikalen Bohrlochverlauf bewirkten selbsttätig einen Steuerungsmechanismus, der über hydraulisch angesteuerte Kufen den Bohrstrang in die vertikale Position zurückführte. Aus der erfolgreichen Lösung dieses Problems wurde das System dahingehend weiterentwickelt, daß nun ein teufenabhängig vorprogrammierter Kurs durch das System nachgefahren wird. Der Bohrlochverlauf wird mit MWD-Technik nach Übertage gemeldet und kann durch entsprechende Steuerbefehle von hier aus korrigiert werden. Das untertägige Steuersystem kann damit auch von Übertage geführt werden. Dieses stellt die erste Zweiwegkommunikation von Navigation und Steuerung dar (Two-Way-Kommunikation).

2.3. Neue Entwicklung von übertägigen Bohrsystemen und -komponenten

Die übertägigen Geräte lassen sich in Kraft- und Arbeitsmaschinen sowie deren Zubehör einteilen. Die Tiefbohrtechnik ist grundsätzlich sehr konservativ eingestellt und Neuerungen gegenüber nur aufgeschlossen, wenn die wirtschaftlichen Vorteile eindeutig sind.

Um standortunabhängig Bohrarbeiten durchführen zu können, ist der Dieselmotor als Kraftmaschine nicht zu ersetzen. Insbesondere während des Ein- und Ausbaues des Bohrstranges ist der schnelle Wechsel von Vollast und Leerlauf kennzeichnend. Der Kraftfluß ist seit 1975 ganz überwiegend vom mechanischen zum elektrischen Kraftfluß übergegangen. Durch die Leistungselektronik (SCR-Technik) wurde die Gleichrichtung von Kraftstrom und die Drehzahlregelung ohne Leonhardt-Satz ermöglicht. Daher setzte sich diese Technik schnell durch. Heute wird wegen des geringeren Wartungsbedarfes und des besonderen Ex-Schutzes ohne Fremdbelüftung zunehmend auch der Drehstrommotor mit elektronischer Steuerung (Frequenzumformer) beim Neubau von Bohrgeräten verwendet.

Der Hauptfortschritt liegt jedoch in der weitgehenden Mechanisierung der Gestängehandhabung beim Ein- bzw. Ausbau des Bohrstranges. Sie umfaßt die Fernbedienung der Abfangkeile, der hydraulischen Zangen für die Kraftver- und Entschraubung sowie der Gestängehandhabungssysteme, mit denen das Abstellen von 30 m langen Gestängezügen erfolgt. Ähnliche Systeme unterstützen den Einbau der Futterrohre, die zur Sicherung des erbohrten Bohrloches abschnittsweise eingebaut und danach zum Gebirge hin zementiert werden.

Die genannten Arbeiten werden mit den mechanisierten Systemen zwar nicht schneller ausgeführt als sie von einer erfahrenen Bohrmannschaft beim manuellen Betrieb geleistet werden kann, aber die Arbeitssicherheit wurde ganz entscheidend verbessert.

Im Bereich der Arbeitsmaschinen wurde der ortsfeste Drehtisch auf der Arbeitsbühne durch einen, an einer Lafette verfahrbaren, Kraftdrehkopf ersetzt. Dieser wird elektrisch oder hydraulisch angetrieben. Damit wird erreicht, daß man statt 10 m lange Einzelstangen 30 m lange Gestängezüge nachsetzen und abbohren kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß in jeder Position beim Aus- bzw. Einbau des Bohrstranges im Falle von Gefahr bzw. Überwindung von Engstellen im Bohrloch die Zirkulation mit Bohrspülung und das

Rotieren des Stranges aufgenommen werden kann. Durch eine weitere Alternative wird die Drehbewegung beim Bohren von einem Bohrmotor bewirkt, der unmittelbar über dem Bohrmeißel angeordnet ist.

Durch die Extended reach-Technik sind Bohrlochlängen von 6 bis 10 km immer häufiger zu leisten. Um dabei genügend hydraulische Leistung am Bohrwerkzeug für die Bohrlochsohlenreinigung zur Verfügung zu haben, wurde in den letzten Jahren eine neue Generation von Spülpumpen entwickelt, die im Dauerbetrieb Drücke bis 50 MPa und dabei Pumpraten über 250 l/s leisten. Drei bis vier Aggregate dieser Pumpen werden bei Tiefbohrungen gleichzeitig eingesetzt.

Da ein Bohrstrang als elastische Welle von mehreren Kilometern Länge unter den im Bohrloch auftretenden Verhältnissen zu Schwingungen angeregt wird (axial, torsional, lateral), können elektronische Steuerungen des Drehantriebes, der Spülpumpen und der Nachlaßvorrichtung (für die Einstellung eines konstanten Meißelgewichtes beim Bohren) entscheidend dazu beitragen, daß eine optimale Vergleichmäßigung der Betriebsparameter beim Bohren hinsichtlich Drehzahl, Andruck und Pumpendruck bewirkt wird. Die negativen Folgen ohne diese Antriebssteuerungen brauchen an dieser Stelle nicht hervorgehoben zu werden.

Abschließend ist auf die Unterstützung des Bohrmeisters (Anlagenführers) hinzuweisen, die er durch die sehr zahlreich eingesetzten Rechnerprogramme für die Einstellung der Betriebsparameter erfährt und auf die Vielzahl der Kontrollanzeigen und Bildschirme im Sichtbereich seines Führerstandes. Dieselben Informationen können gleichzeitig zum Bohrstellenleiter und zur Bohrzentrale gegeben werden.

Auf die großen Verbesserungen der modernen Bohrwerkzeuge muß in dieser Kurzfassung ebenso verzichtet werden wie auf das zahlreiche farbige Bildmaterial, welches beim Vortrag verwendet wurde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der bohrtechnische Wandel, der in den letzten 10 Jahren eine große Verbreitung gefunden hat, bedeutend und tiefgreifend ist. Die Zeit nach 1990 ist charakterisiert durch global operierende Bohrkontraktoren und Servicegesellschaften, die heute als Partner mit den großen Erdöl- und Erdgasunternehmen zusammenarbeiten und dabei gemeinsam Projekte und Entwicklungen betreiben. Der hohe ingenieurmäßige Aufwand, der beim Abteufen von Bohrungen geleistet wird, erfolgt heute zu einem erheblichen Teil durch Servicegesellschaften.

Literatur

1. MARX, C. Entwicklung der Bohrtechnik Schriftenreihe der Frontinus-Ges., Heft 14, 1990, S. 125–150.
2. PUST, G., Schamp, J. Planung und Durchführung einer Short-Radius Horizontalbohrung im Ölfeld Voigtei, Mobil Erdgas-Erdöl GmbH, Celle, Mai 1999
3. N. N. Drilling Systems, Baker Hughes INTEQ 1994, S. 1 – 14
4. SCHAMP, J. North German operator uses learning curve to improve horizontal drilling techniques, Oil and Gas Journal, Dec. 1, 1997

5. RICH, G. et al Rotary closed Loop Drilling System Designed for the next Millenium, Petr. Eng. Intern., May 1997, S. 47 – 53
6. FRANK, U. High-Tech Bohrung „Dieksand 2“, Vortrag 17.06.1998 der RWE-DEA und Wintershall AG auf der Bohrlokation.

Prof. Dr.-Ing. Claus Marx
Am Stollen 18
D-38640 Goslar